

ІНДИВІДУАЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ ПОЛІМІКТОВИХ ГЛИНИСТИХ ГАЗОНАСИЧЕНИХ ПІСКОВИКІВ

В.А. Старостін, Я.М. Коваль, І.О. Федак

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42056,
e-mail: geophys@nuing.edu.ua

Гірські породи, які представляють продуктивні горизонти багатьох нафтогазових родовищ України, характеризуються неоднорідністю мінерального складу скелета породи, а також вторинними процесами породоутворення і відносяться до складнопобудованих порід-колекторів. До таких порід-колекторів відносяться і поліміктові глинисті пісковики. Основними чинниками, що призводять до похибки визначення підрахункових параметрів поліміктових глинистих пісковиків, згідно з даними електричного каротажу, є вміст глинистого матеріалу та ступінь пелітизації зерен скелету породи. З метою підвищення достовірності визначення підрахункових параметрів порід-колекторів (зокрема коефіцієнта газонасичення) пропонується проводити індивідуальне моделювання електропровідності гірських порід, яке дає можливість враховувати особливості будови конкретного геологічного об'єкта. Для побудови моделі електропровідності поліміктових глинистих порід-колекторів за основу взято модель "двох вод" Б.Ю. Вендельштейна. Тому електропровідність поліміктових глинистих порід-колекторів складатиметься із суми електропровідностей чистого пісковика за моделлю Арчі та поліміктової і глинистої фракцій. Ефективність індивідуальної моделі електропровідності поліміктових глинистих пісковиків перевірена на результатах лабораторних досліджень керна матеріалу.

Ключові слова: свердловина, насичення, породи-колектори, пористість, відклади.

Горные породы, представляющие продуктивные горизонты многих нефтегазовых месторождений Украины, характеризуются неоднородностью минерального состава скелета породы, а также вторичными процессами породообразования и относятся к сложнопостроенным породам-коллекторам. К таким породам-коллекторам относятся и полимиктовые глинистые песчаники. Основными факторами, которые приводят к погрешности определения подсчетных параметров полимиктовых глинистых песчаников, по данным электрического каротажа является содержание глинистого материала и степень пелитизации зерен скелета породы. С целью повышения достоверности определения подсчетных параметров пород-коллекторов (в частности коэффициента газонасыщения) предлагается индивидуальное моделирование электропроводности горных пород, позволяющее учесть особенности строения конкретного геологического объекта. Построение модели электропроводности полимиктовых глинистых пород-коллекторов основано на модели "двух вод" Б.Ю. Вендельштейна. Потому электропроводность полимиктовых глинистых пород-коллекторов будет состоять из суммы электропроводности чистого песчаника по модели Арчи и полимиктовой и глинистой фракций. Эффективность индивидуальной модели электропроводности полимиктовых глинистых песчаников проверена по результатам лабораторных исследований керна материала.

Ключевые слова: скважина, насыщение, породы-коллекторы, пористость, отложения.

Rocks representing the productive horizons of many oil and gas fields in Ukraine are characterized by heterogeneity of the mineral composition of the skeleton rock and secondary rock-forming processes and refer to reservoir rocks with complicated structure. Such reservoir rocks are polymictic clayey sandstones. The main factors that lead to the error of determining the calculation parameters of polymictic clay sandstones, according to electric logging, is the content of clay material and the degree of pelitization of rock skeletal grains. In order to improve the reliability determination of calculation parameters in reservoir rocks and in particular the coefficient of gas saturation is proposed to take individual modeling of electrical conductivity of rocks, which makes it possible to take into account the structural features of a particular geological objects. To construct the model of electrical conductivity of polymictic clay reservoir rocks the basis is the model of "two waters" V.Y. Then, the electrical conductivity of polymictic clay reservoir rocks will be consist of the amount of conductivity of pure sandstone by model of Archie and conductivity of polymictic and clay fractions. The effectiveness of the individual model conductivity of polymictic clay sandstones tested on the results of laboratory tests of core material.

Keywords: well, enrichment, pores-collectors, porosity, adjournment.

Основні поклади вуглеводнів ДДЗ зосереджені у кам'яновугільних відкладах, які представлені як мономіктовими, так і поліміктовими породами-колекторами. У процесі обробки та інтерпретації результатів геофізичних досліджень свердловин, розрізи яких виповнені поліміктовими пісковиками, виникає багато труднощів, які пов'язані із невідповідністю зареєстрованих параметрів дійсним. У наступному це стосується методів електричного каротажу. Адже дуже часто пласти-колектори за даними

електричного каротажу характеризуються як водоносні, а в результаті випробування із даних пластів отримують нафту чи газ [1]. Дослідження такого типу колекторів і є актуальною проблемою визначення їх характеру насичення [2, 3 та ін.]. У зв'язку з цим необхідно розробляти нові методичні підходи до інтерпретації результатів геофізичних досліджень відкладів такого типу. Основою розробки нових методичних підходів є математичне моделювання. Моделювання дозволяє прогнозувати властиво-

сті геологічного об'єкта за відсутності експериментальних спостережень і розраховувати значення геологічних параметрів за інформацією геофізичних полів.

Головною особливістю геолого-фізичної моделі повинна бути її змістовність. Змістовність дає змогу розкривати причинно-наслідкові зв'язки у геологічних об'єктах, тобто отримувати нові наукові результати. Створені змістовні геолого-фізичні моделі, враховуючи те, що геологічні об'єкти є багатопараметричними системами, повинні бути багатомірними. Багатомірні моделі у нафтогазовій геології є імовірнісними, що пов'язано із:

- складністю вимірювання всіх параметрів для вивчення закономірностей у складнобудованих системах, тому моделі, які не включають всі існуючі параметри, відносяться до імовірнісних;

- використанням у вибраній моделі оптимально наближеного математичного опису, чим вноситься похибка апроксимації;

- можливими похибками оцінки вимірних параметрів моделі, що обумовлюється статистичним підходом до оцінки величини параметрів;

- використанням характеристик об'єктів різних рівнів дослідження.

Дослідженню електропровідності зв'язаної води приділялась велика увага багатьма вченими [4, 5, 6 та ін.]. У роботі Е.І. Леонтьєва [6] електропровідність чистих пісковиків складається із електропровідності пухкозв'язаної і вільної води, які близькі за провідністю. Дослідженнями Александрова Б.Л. [7], Єфімова В.А. [8] показано, що електропровідність глинистої фракції залежить від мінерального складу глин. Так, максимальним вмістом води характеризується глиниста порода, до складу якої входить монтморилоніт, а мінімальним – каолінит.

У роботі [9] Б.Ю. Вендельштейном доведено, що присутність глинистого цементу у породі може призводити як до зменшення, так і до збільшення її питомого електричного опору. За умови $\rho_v > \rho_w$ присутність глин призводить до зменшення питомого електричного опору, а при $\rho_v < \rho_w$ заглинизованість викликає його збільшення.

Дані геофізичних досліджень свердловин електричними методами і результати промислових випробувань показали, що питомий електричний опір пласта зменшується при збільшенні глинистості, що, в свою чергу, вказує на наявність першої умови – $\rho_v > \rho_w$.

Усі найбільш вживані моделі електропровідності (4, 5, 6 та ін.) не дають можливості враховувати ступінь політизації зерен скелету породи. Тому основною метою даної роботи є побудова індивідуальної моделі електропровідності поліміктових глинистих пісковиків, яка враховуватиме як глинистість, так зв'язану воду за рахунок пелітизації зерен скелету породи.

Для побудови моделі електропровідності порід складної будови нами за основу взято модель “двох вод” [10], яка передбачає, що електропровідність гірських порід зумовлена за-

лишковою фізичнозв'язаною водою глинистої фракції породи та рухомою вільною водою. Електропровідність двох вод має різні значення, тобто адсорбційнозв'язана вода має більшу електропровідність, ніж вільна пластова вода.

Нами досліджено природу електропровідності поліміктових глинистих порід за результатами досліджень геолого-геофізичних параметрів, проведених на кернавому матеріалі відібраному із свердловин Розпашнівського газоконденсатного родовища [1]. Для вивчення мінерального складу скелету породи та глинистої фракції використовувались результати літолого-петрографічного та гранулометричного аналізів кернавого матеріалу [11, 12], виконаних Івано-Франківським інститутом нафти і газу (ІФІНГ). Електричні властивості та характеристика насичення породи-колектора вивчалися з врахуванням даних гранулометричного аналізу [12].

Як показали результати досліджень кернавого матеріалу [1], петрографічна характеристика пісковиків Розпашнівського газоконденсатного родовища доволі різноманітна: від дрібно- і середньозернистих алевритистих до різно- та крупнозернистих гравелітових різновидів. За мінеральним складом пісковики мономіктові і поліміктові, рідше вапняковисті. Кластичний матеріал представлений кварцом, вміст якого змінюється від 40-45% до 75-80%, польовими шпатами, уламками кварцитів, кремнію, діабазів, ортоклазу, олігоклазу. Зустрічаються також уламки апатиту, біотиту, мусковіту і поодинокі зерна акцесорних мінералів гранату і циркону. Уламковий матеріал кутуватий і напівокатаний, частково короований. Відсортованість уламків різноманітна – від хорошої до середньої (св. №16, 77) і поганої (св. №14); цемент за складом полімінеральний, переважно глинисто-карбонатний, карбонатно-глинистий, рідше карбонатний, карбонатно-ангідрито-гідроокисно-гідрослюдястий. Глиниста складова цементу представлена частіше всього каолінітом, рідше гідрослюдою. Розподіл цементу нерівномірний, поровий, плівково-поровий, нерівномірно-згустковий і базально-поровий. У відкладах верхнього карбону спостерігаються пори різної форми: трикутної, тріщиноподібної, звивистої, розміром від 0,02 до 0,25 мм. За літолого-фізичними властивостями колектори відносяться до гранулярно-порового типу. Характер їх будови на кожному часовому циклі обумовлений в основному палеообставинами накопичення осадів, велике значення мала динаміка соляного тіла, яка є основною причиною макро- і мікронеоднорідності продуктивних горизонтів. Макронеоднорідність горизонтів має прояви у зміні літологічного складу і ємнісно-фільтраційних властивостей порід як по площі, так і по розрізу. Макронеоднорідність відображається у мінливості самого пористого середовища в результаті структурних та текстурних особливостей, і впливає як на колекторські властивості, так і на характер петрофізичних зв'язків між окремими параметрами. Відкрита пористість порід змінюється в межах від 2,5% до 24,5%, проникність

від $0,02 \times 10^{-3}$ мкм² до 1100×10^{-3} мкм², залишкове водонасичення від 5% до 80,5%, глинистість від 2% до 40% і карбонатність від 1,5% до 16%.

Отже, у моделі двох вод електропровідності породи буде складатись із електропровідності електроліту, на контакт дисперсної частини порового простору (глинисті мінерали, пелітизована поверхня зерен скелету породи) та електроліту, що заповнює порові канали.

У нашому випадку питома електропровідність поліміктових глинистих пісковиків для Розпашнівського газоконденсатного родовища буде складатись із суми електропровідностей чистого пісковику за моделлю Арчі та поліміктової і глинистої фракцій. Використовуючи формулу Арчі $\sigma_{nc} = K_n^m \cdot K_e^n \sigma_e$ [13], нами пропонується модель електропровідності поліміктового глинистого пісковику записати у такому вигляді:

$$\sigma_n = K_n^{m \cdot \xi(G)} K_e^n \times \left[\sigma_{en} \left(\frac{K_e - K_{e3}}{K_e} \right) + \sigma_{e.ad} \left(\frac{K_{e3}^{2l} + K_{e3}^{pl}}{K_e} \right) \right], \quad (1)$$

де σ_{en} – питома електропровідність порової води, См/м;

$\sigma_{e.ad}$ – питома електропровідність адсорбційної води, См/м;

K_{e3} – залишкове водонасичення порового простору, ч.од.;

K_{e3}^{2l} – залишкове водонасичення глинистої компоненти, ч.од.;

K_{e3}^{pl} – залишкове водонасичення пелітизованої частини скелету породи, ч.од.

Коефіцієнт залишкового водонасичення для глинистої і пелітизованої фракцій будемо визначати за формулами [11, 12]:

$$K_{e3}^{2l} = \frac{K_{2l} \cdot K_n^{2l}}{K_n (1 - K_n^{2l})}; \quad K_{e3}^{pl} = \frac{K_{pl} \cdot K_n^{pl}}{K_n (1 - K_n^{pl})}, \quad (2)$$

де K_{2l} – коефіцієнт глинистості, ч.од.;

K_n^{2l} – коефіцієнт пористості глинистої фракції, ч.од.;

K_{pl} – коефіцієнт поліміктовості, який характеризує ступінь пелітизації зерен скелету породи, ч.од.;

K_n^{pl} – коефіцієнт пористості пелітизованої частини зерен скелету породи, ч.од.

Залишкове водонасичення K_{e3} порового простору чистих пісковиків, як встановлено багатьма вченими [14, 15, 16 та ін.], залежить від наступних чинників: форми внутрішньої поверхні пор матриці породи; діаметру зерен скелету породи; ступеня відсортованості зерен; характеристик цементу; звивистості капілярів тощо. Для визначення частки залишкового водонасичення чистих пісковиків, яка зумовлена структурою порового простору, нами запропонована методика стохастичного прогнозу залежності кількості залишкової води від середнього радіуса пор $K_{e3} = f(r_{cp})$. Стохастична залежність будувалась за результатами досліджень залишкового водонасичення методом центрифугування [17] взірців порід чистих пісковиків

візейського віку Тимофіївського та Куличихинського родовищ. Середній радіус пор визначався за формулою [14, 15]:

$$r_{cp} = A \sqrt{K_{np} / K_n}, \quad (3)$$

де A – коефіцієнт пропорційності;

K_{np} – коефіцієнт проникності, $\times 10^{-3}$ мкм²;

K_n – коефіцієнт пористості, ч.од.

Із рис. 1 (а, б) видно, що коефіцієнти кореляції залежності $K_{e3} = f(r_{cp})$ мають високі значення. Для Тимофіївського родовища становить $R=0,926$ ($\sigma(r_{cp})=2,5$ мкм; $\sigma(K_{e3})=11,4$ %), для Куличихинського – $R=0,915$ ($\sigma(r_{cp})=5,3$ мкм; $\sigma(K_{e3})=8,1$ %), що вказує на можливість їх практичного використання. На рисунку 1 (в) наведена спільна для згаданих вище родовищ залежність, яка також характеризується високим коефіцієнтом кореляції $R=0,906$ ($\sigma(r_{cp})=4,4$ мкм; $\sigma(K_{e3})=9,9$ %).

Отримане такий спосіб рівняння використовуватиметься для розрахунку прогнозного значення K_{e3} :

$$K_{e3} = 21,54 \cdot r_{cep}^{-0,615}. \quad (4)$$

Модель електропровідності поліміктового глинистого пісковику з врахуванням формул (1, 2, 4) запишемо у наступному вигляді:

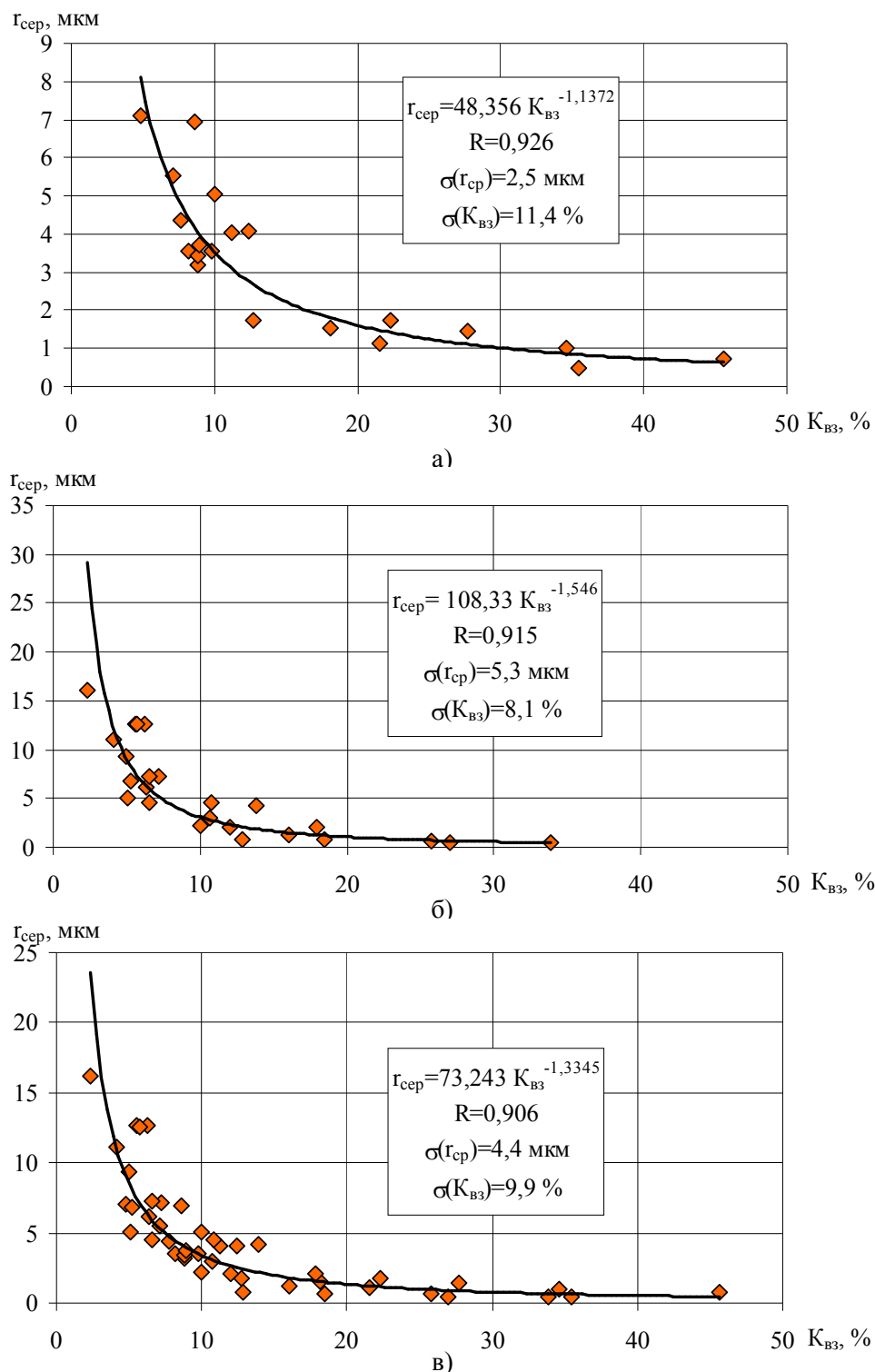
$$\sigma_n = K_n^{m \cdot \xi(G)} K_e^n \left[\sigma_e \left(\frac{K_e - \frac{21,54}{r_{cep}^{0,615}}}{K_e} \right) + \sigma_{e.ad} \left(\frac{\frac{K_{2l} \cdot K_n^{2l}}{K_n (1 - K_n^{2l})} + \frac{K_{pl} \cdot K_n^{pl}}{K_n (1 - K_n^{pl})}}{K_e} \right) \right], \quad (5)$$

Такого роду модель електропровідності характеризує породи поліміктового складу з розсіяною дисперсною глинистістю та пелітизованою часткою полімінерального складу скелету породи.

Для визначення коефіцієнта глинистості використовувалась залежність інтенсивності природного гамма-випромінювання від глинистості пласта-колектора (рис. 2), яка побудована за матеріалами лабораторних досліджень кернавого матеріалу ПЕГДС, відібраного з продуктивних товщ Розпашнівського газоконденсатного родовища [1]. Параметр I_γ характеризується підвищеними значеннями за рахунок полімінерального складу скелету породи, однак залежність має високий коефіцієнт кореляції $R=0,9$ ($\sigma(\Delta I_\gamma)=0,15$; $\sigma(K_{2l})=6,4$ %), що зумовлено однорідним мінеральним складом скелету породи.

Частка порового простору глинистої фракції оцінювалась за мінеральним складом глин [18].

Коефіцієнт поліміктовості (K_{pl}) визначався за результатами гамма-спектрометричних досліджень кернавого матеріалу, відібраного з



а – Тимофіївське родовище; б – Куличихинське родовище; в – спільно для обох родовищ

Рисунок 1 – Залежність залишкового водонасичення $K_{\text{вз}}$ від середнього радіуса пор $r_{\text{ср}}$

продуктивних товщ Гадяцького і Розпашнівського газоконденсатних родовищ. Коефіцієнт поліміковості характеризує ступінь пелітизації зерен скелету породи і визначається відношенням площі поверхні пелітизованих частинок скелету породи до загальної площі поверхні порового простору. Результати гамма-спектрометричних досліджень дозволили визначити вміст мінералів, до складу яких входять елемент ^{40}K , його кількість, в даному випадку, за-

лежить від вмісту польових шпатів. Саме ці мінерали мають властивість пелітизуватись.

Визначення коефіцієнта поліміковості проводилось за залежністю $\Delta I_{\gamma}^K = f(\Delta I_{\gamma}^{Th})$ (рис. 3), яка встановлена для піщано-глинистих відкладів досліджуваних родовищ. При побудові залежності використовувались дані лабораторних вимірювань вмісту Th і K в гірських породах, виконаних ІФІНГ [12].

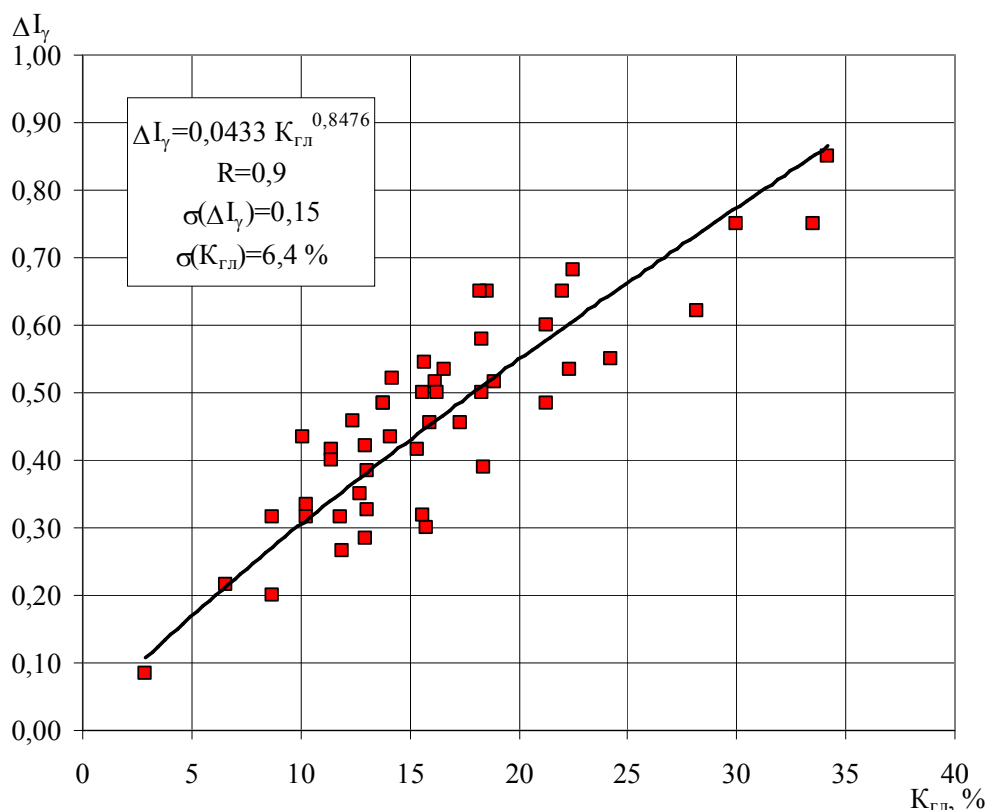


Рисунок 2 – Залежність подвійного різницевого параметра природної γ -активності пластів-колекторів ΔI_γ від коефіцієнта їх об'ємної глинистості $K_{гль}$

Із рис. 3 видно, що між величинами ΔI_γ^K і ΔI_γ^{Th} існує лінійна залежність, яка описується рівнянням регресії:

$$\Delta I_\gamma^K = 0,98 \cdot \Delta I_\gamma^{Th} + 0,01, (R=0,97). \quad (6)$$

За даною залежністю визначається належність досліджуваного інтервалу до літологічного різновиду. Якщо вміст калію і торію зумовлений наявністю глинистої фракції, то точка з координатами ΔI_γ^K і ΔI_γ^{Th} попадає в область, обмежену двома пунктирними лініями (розмір цієї області визначається точністю вимірювань). У цю область попадають усі точки, для яких існує функціональна залежність між вмістом радіоактивних елементів у гірській породі і глинистості.

При попаданні точки вище вказаної області, досліджуваній інтервал можна віднести до поліміктових пісковиків. Для цього інтервалу характерним є таке співвідношення: при великому значенні вмісту калію спостерігається низький вміст торію.

Значення ΔI_γ^K і ΔI_γ^{Th} , які зумовлені попаданням точок нижче вказаної області, пов'язані з присутністю торію у гірській породі не тільки в глинистому цементі, але і у скелеті породи. До таких інтервалів відносяться взірці, в яких присутні акцесорні мінерали.

Отже, належність зареєстрованих значень інтенсивності гамма-випромінювання до певної області графіка (див. рис. 3) визначає особливості літології гірської породи. Використання такого підходу дозволяє виділити колектори

поліміктового складу. Для підтвердження визначення K_{pl} нами також використовувались результати опису шліфів [11].

На основі запропонованої формули моделі електропровідності (5) нами досліджено вплив ступеня пелітизації та глинистості пластів-колекторів на їх питомий електричний опір при визначенні коефіцієнта водонасичення. На рис. 4 наведено графік залежності $\rho_n = f(K_e)$ при різних значеннях K_{pl} (K_{pl} –шифр кривих). При розрахунках вибирались значення $K_{гль}^{21}=11\%$, $K_{гль}^{22}=3\%$, $\sigma_e=37$ См/м, $\sigma_{e,ao}=40$ См/м, $K_n=15\%$.

З рис. 4 видно, що пелітизована частка скелету породи впливає більше на її питомий електричний опір при низьких значеннях коефіцієнта водонасичення. Тобто у взірцях з максимальним газонасиченням при неврахуванні пелітизованої частки мінерального скелета похибка визначення K_e більша, що підтверджується фактичними даними. У діапазоні водонасичення $K_e=40\div70\%$ вплив пелітизованої частки мінерального скелета мінімальний, тобто питомий електричний опір водонасичених порід в основному залежить від колекторських властивостей.

На рис. 5 наведено залежність питомого електричного опору ρ_n від коефіцієнта водонасичення K_e за умови зміни коефіцієнта глинистості $K_{гль}$ у діапазоні $5\div20\%$; інші параметри прийняті такими: $K_n=15\%$, $K_{pl}=10\%$, $K_{гль}^{21}=25\%$, $K_{гль}^{22}=30\%$. З рис. 5 видно, що у діапазоні значень коефіцієнта водонасичення від 30% до 70% вплив глинистості на величину питомого

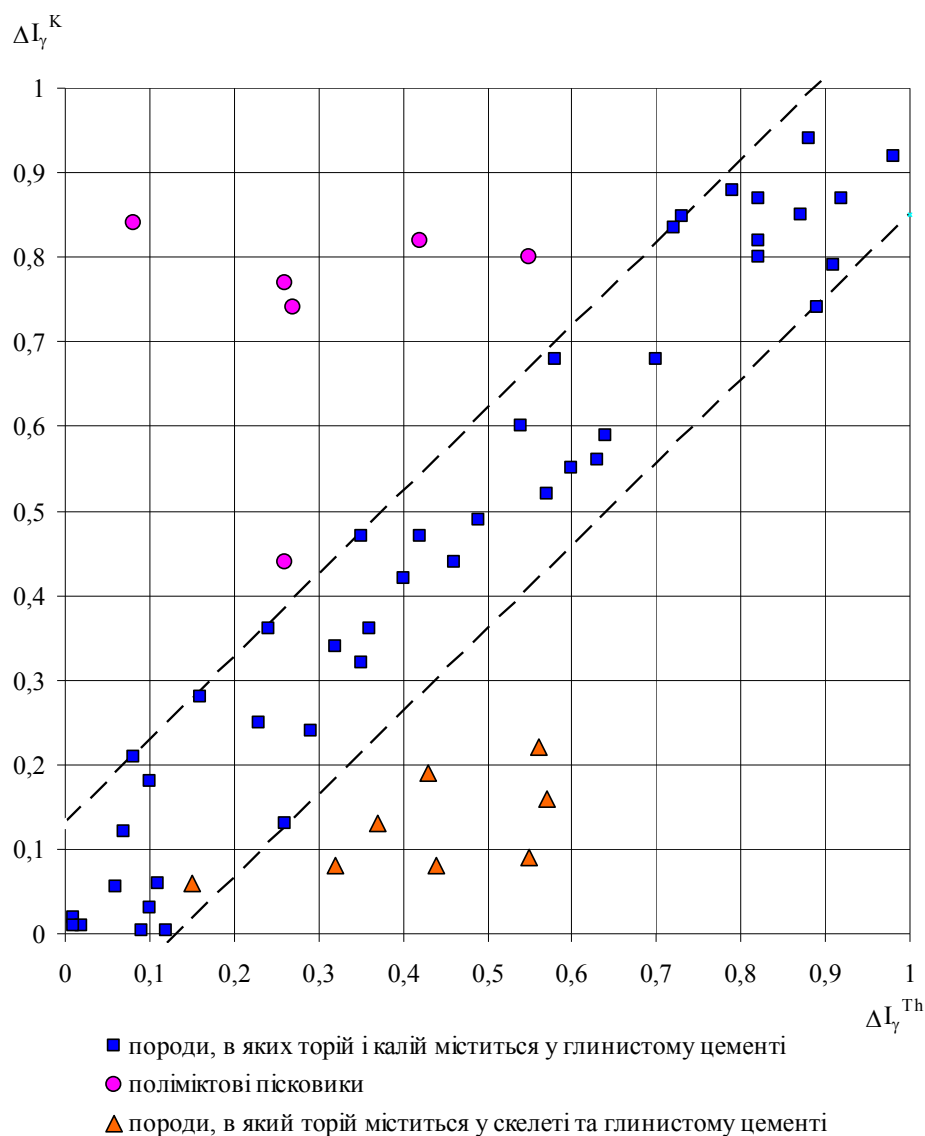


Рисунок 3 – Зв'язок між подвійним різницею параметром природної γ -активності за калієм ΔI_{γ}^K і торієм ΔI_{γ}^{Th} для встановлення літотипу породи (пісковик – аргіліт)

електричного опору незначний. Залежність підпорядкована степеневій функції. Градієнт зміни функції $\rho_n = f(K_v)$ при $K_{cl}=5\%$ більший ніж при $K_{cl}=20\%$. Показник степеня функції при $K_{cl}=5\%$ рівний $n=1,42$, а при $K_{cl}=20\%$ – $n=1,24$. Це свідчить про те, що при малій глинистості невеликі зміни водонасичення більше впливають на питомий електричний опір пласта.

Таким чином, для поліміктових пісковиків вплив глинистості та пелітизації поверхні зерен мінерального скелету породи має свої особливості, що потребує індивідуального врахування при визначенні насичення пластів-колекторів.

Достовірність запропонованої нами моделі взаємозв'язку електричного опору поліміктових глинистих порід-колекторів з коефіцієнтом їх водонасичення (5) була перевірена на результатах лабораторних досліджень керну. На рис. 6 наведений графік зіставлення розрахованих значень питомого електричного опору ρ_n^p із значеннями питомого електричного опору, виміряних на взірцях керну ρ_n^6 .

Із рис. 6 видно, що обидва значення дуже добре корелюються ($R=0,97$; $\sigma(\rho_n^6)=9,9$ Ом; $\sigma(\rho_n^p)=8$ Ом), а відносна похибка становить $\delta=-0,0797$. У діапазоні значень від 2 до 17 Ом щільність зв'язку більша через суттєвий вплив чинників K_{cl} і K_{pl} , тобто K_a характеризується більшими значеннями. Таку закономірність експериментально підтверджують результати аналізу моделі. У діапазоні значень 19-32 Ом спостерігається менша міцність зв'язку, що, на нашу думку, зумовлено незначним впливом структури порового простору на питому електропровідність порід-колекторів.

Отже, наявність пелітизованих частинок у мінеральному скелеті поліміктових пластів-колекторів, які зв'язують велику кількість води, впливає на зниження питомого електричного опору газонасиченого пласта, що призводить до значних похибок у визначенні коефіцієнтів газонасичення на основі широкоживаних моделей електропровідності гірських порід. Запропонована нами модель електропровідності дає

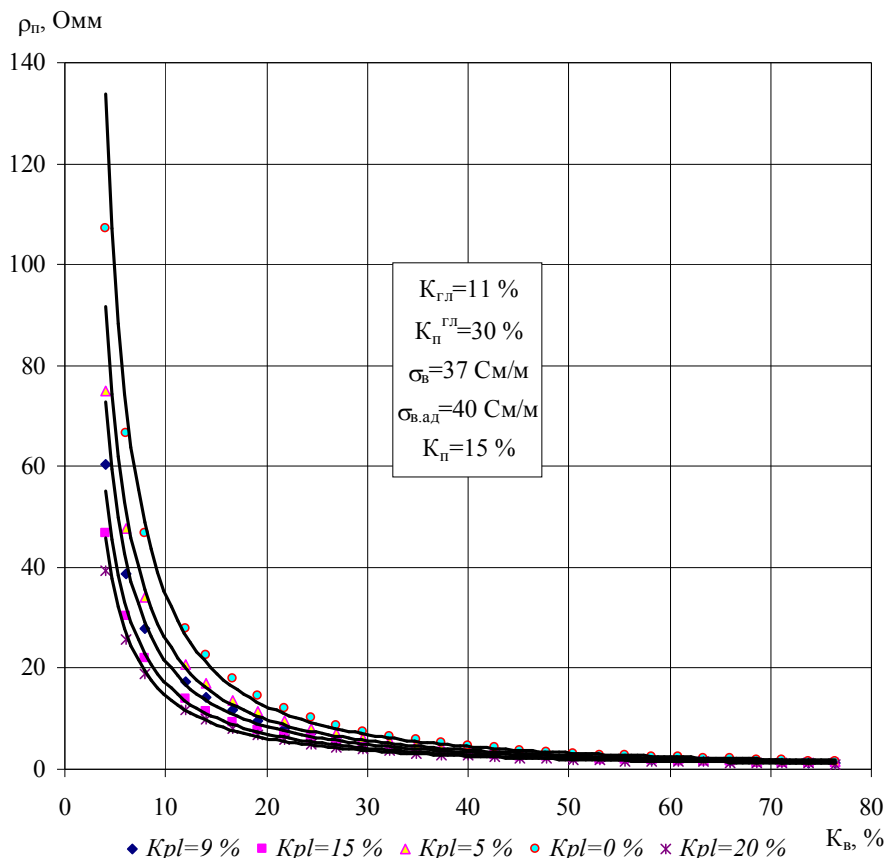


Рисунок 4 – Характеристика зв'язку питомого електричного опору $\rho_{п}$ з коефіцієнтом водонасичення $K_{в}$ при варіації коефіцієнта поліміктовості $K_{пл}$ (шифр кривих – $K_{пл}$)

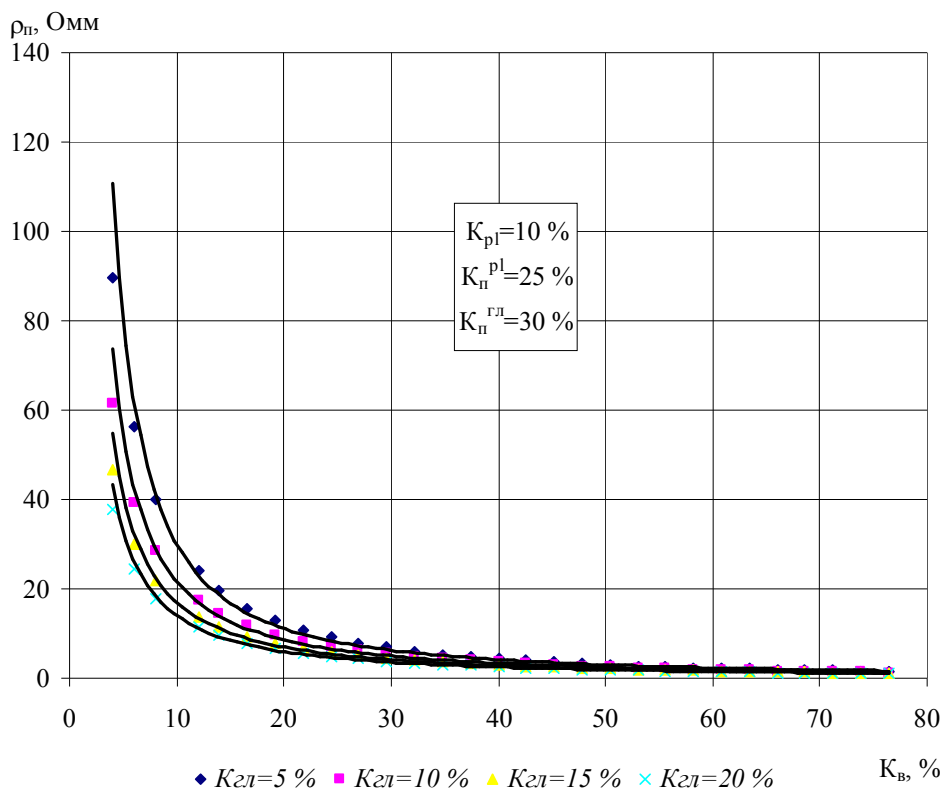


Рисунок 5 – Характеристика зв'язку питомого електричного опору $\rho_{п}$ з коефіцієнтом водонасичення $K_{в}$ при варіації коефіцієнта глинистості $K_{зл}$ (шифр кривих – $K_{зл}$)

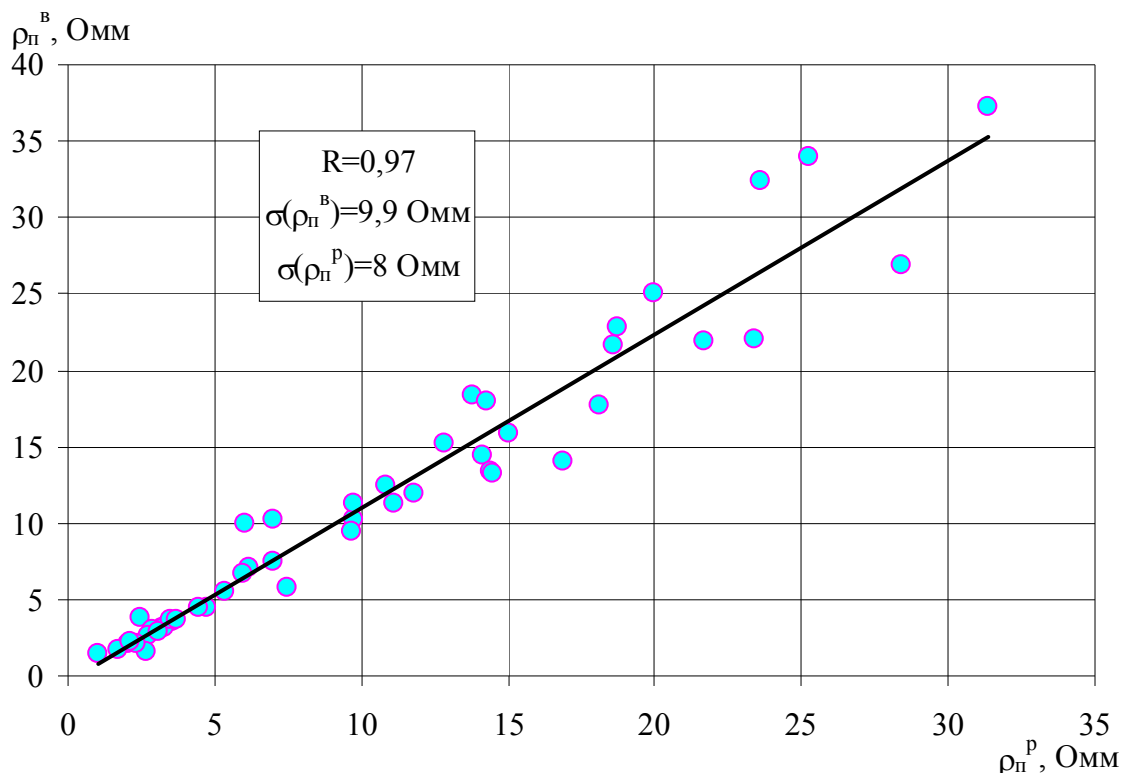


Рисунок 6 – Зіставлення питомого електричного опору $\rho_{п}^в$, виміряного на взірцях керна у лабораторних умовах із розрахованими значеннями $\rho_{п}^р$

можливість підвищити достовірність визначення питомого електричного опору порід-колекторів поліміктового складу, а в подальшому і коефіцієнта газонасичення. В основу перспективи подальшої роботи буде покладено впровадження запропонованої нами індивідуальної моделі електропровідності у виробництво.

Література

1 Анализ результатов геофизических исследований скважин Распашновского газоконденсатного месторождения и использование этих данных для обоснования коллекторов и величин подсчетных параметров / В.Н. Проскурняк, И.Н. Муляр, К.Ф. Кривоносова, Л.Н. Сиротика, Л.А. Кирпичев // Министерство геологии СССР объединение “Укргеофизика”. – Полтавская экспедиция по геофизическим исследованиям в скважинах. – Полтава, 1989. – С. 293.

2 Старостін В.А. Індивідуальне моделювання електропровідності газонасичених порід-колекторів складної будови / В.А. Старостін, Я.М. Коваль // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2011. – №4(41). – С. 41-46.

3 Карпенко А.Н. Петрофизическая модель электропроводности тонкослоистой глинисто-песчаной толщи / А.Н. Карпенко // Геофизический журнал. – 2002. – №1. – Т. 24. – С. 103-109.

4 Элланский М.М. Петрофизические связи и комплексная интерпретация данных промысловой геофизики / М.М. Элланский. – М.: Недра, 1978. – 215 с.

5 Элланский М.М. Петрофизические основы комплексной интерпретации данных ГДС: методическое пособие / М.М. Элланский. – М.: ГЕРС, 2001. – 229 с.

6 Леонтьев Е.И. Моделирование в петрофизике / Е.И. Леонтьев. – М.: Недра, 1978. – 124 с.

7 Александров Б.Л. Влияние температуры на удельное сопротивление и скорость распространения акустических волн в глинах / Б.Л. Александров, В.С. Афанасьев // Нефтегазовая геология и геофизика. – 1976. – №18. – С. 10-14.

8 Єфімов В.А. Петрофизические модели сложнопостроенных глинистых коллекторов для оценки их нефтегазонасыщения по данным электрометрии скважин: автореферат. дис. на соиск. уч. степени канд. геол.-минер. наук: спец. 00.30.03 “Геология нефти и газа” / В.А. Єфімов; Тюменский государственный нефтегазовый университет. – Тюмень, 1984. – 26 с.

9 Вендельштейн Б.Ю. О связи между параметром пористости, коэффициентом поверхностной проводимости, диффузионно-адсорбционными свойствами терригенных пород / Б.Ю. Вендельштейн // Труды МИНХ и ГП. – 1960. – № 31. – С. 16-30.

10 Вендельштейн Б.Ю. Исследование связи между параметром насыщения и коэффициентом водонасыщения для полимиктовых песчаников и алевролитов месторождений Узень и Жетыбай : в кн. [Петрофизика и промысловая геофизика] / Б.Ю. Вендельштейн, А.С. Горбенко // Труды Моск. ин-та нефт. и газ. пром-сти. – М.: Недра, 1969. – №89. – С. 33-40.

11 Изучение естественной радиоактивности и других физических параметров продуктивных отложений центральной части ДДВ / В.Я. Бардовский, В.А. Старостин. Отчет НИР по теме №140/82 – ИФИНГ. №ГР 018200707339. – Ивано-Франковск. 1982 г. – 107 с.

12 Комплексное изучение коллекторов полимиктовых песчаников ДДВ с использованием геофизических и гидродинамических исследований / О.И. Антонишин, Р.Г. Пилипюк, А.И. Кобрунов, В.А. Старостин, Е.И. Адамский // Отчет по НИР №12/83 (заключительный) – ИФИНГ. Ивано-Франковск, 1985. – 133 с.

13 Archie G.E. The electrical resistivity log as aid in determining some reservoir characteristics / G.E. Archie // Trans. AIME. – 1942. Vol. 146. – P. 54-62.

14 Ханин А.А. Породы-коллекторы нефти и газа и их изучение / А.А. Ханин. – М.: Недра, 1969. – 368 с.

15 Ромм Е.С. Структурные модели порового пространства горных пород / Е.С. Ромм. – Л.: Недра, 1985. – 240 с.

16 Энгельгард В. Поровое пространство осадочных пород / В. Энгельгард; пер.с немец. Геймана М.А. – М.: Недра, 1964. – 231 с.

17 Анализ результатов геофизических исследований скважин Куличихинского газоконденсатного месторождения и использование этих данных для обоснования коллекторов и величин подсчетных параметров / В.Н. Проскурняк, П.Н. Муляр // Министерство геологии СССР объединение “Укргеофизика”. – Полтавская экспедиция по геофизическим исследованиям в скважинах. – Полтава. 1985, – С. 143.

18 Клубова Т.Т. Глинистые коллекторы нефти и газа / Т.Т. Клубова. – М.: Недра, 1988. – 157 с. ISBN 5-247-00147-8.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
29.10.12*

*Рекомендована до друку професором
Б.Й. Маєвським*